第 38 卷第 11 期
2018 年 6 月

生　态　学　报
ACTA ECOLOGICA SINICA

Vol.38,No.11
Jun.,2018

DOI: 10.5846/stxb201704300791
吴健生,黄乔,曹祺文.深圳市基本生态控制线划定对生态系统服务价值的影响.生态学报,2018,38(11):3756-3765.
Wu J S, Huang Q, Cao Q W.Effects of basic ecological control line policy on ecosystem services value in Shenzhen.Acta Ecologica Sinica,2018,38(11):3756-3765.

深圳市基本生态控制线划定对生态系统服务价值的影响

吴健生[1,2,*],黄　乔[1],曹祺文[1]

1 北京大学城市规划与设计学院,城市人居环境科学与技术重点实验室, 深圳　518055
2 北京大学城市与环境学院,地表过程与模拟教育部重点实验室, 北京　100871

摘要:基于深圳市 2002、2005 和 2010 年的土地变更调查数据,分析了基本生态控制线划定前后深圳市土地利用面积变化特征,运用基于单位面积价值当量因子的方法对生态系统服务价值进行评估,并采用倍差法研究了基本生态控制线政策对生态系统服务价值的影响。结果表明:2002—2010 年深圳市土地利用总体呈现耕地、园地、草地和水域面积减小,建设用地面积增大,林地面积先减小后增大的趋势;该区生态系统服务价值总体减小,但基本生态控制线划定之后总价值减小的速率降低;各土地利用类型中,林地和水域是构成深圳市生态系统服务价值的主要来源,而各项生态系统服务中,水源涵养产生的价值最大;生态系统服务价值低值范围不断扩大,蚕食价值高的地区,尤其以西部沿海、宝安北部、光明新区、龙华北部以及龙岗南部地区价值降低最为明显;基本生态控制线内生态系统服务价值以中、较高为主,价值变化不明显,线外以低、较低为主,且呈现不断降低的趋势;倍差法结果表明基本生态控制线政策对生态系统服务价值的提高存在促进作用,提升幅度约为 1.6%。

关键词:基本生态控制线;土地利用变化;生态系统服务价值;倍差法;深圳市

Effects of basic ecological control line policy on ecosystem services value in Shenzhen

WU Jiansheng[1,2,*], HUANG Qiao[1], CAO Qiwen[1]

1 *Key Laboratory for Urban Habitat Environmental Science and Technology, School of Urban Planning and Design, Peking University, Shenzhen* 518055, *China*

2 *Laboratory of Earth Surface Processes of Ministry of Education, College of Urban and Environment Science, Peking University, Beijing* 100871, *China*

Abstract: Based on land use data from three periods, land use/cover change and ecological services values (ESV) in Shenzhen were analyzed based on the value equivalent factor in a unit area. In addition, the effects of the basic ecological control line policy on the ESV in Shenzhen were investigated using the difference in differences method. The results indicated that the quantities of cultivated land, orchard, grassland, and water bodies decreased from 2002 to 2010, whereas construction land area increased. In addition, the forest land first increased then decreased, but the decrease ratio showed a reduction trend after the basic ecological service control line policy was implemented. Among all land use types, forest land and water bodies were the two main sources of ESV, whereas water supply had the top value among all kinds of services. Areas with low ESV expanded and eroded the areas with high ESV. ESV on the western coast, the northern part of Bao′an and Longhua Districts, Guangming District, and the southern part of Longgang District decreased sharply. The grades of ESV within the control line zones were mainly medium and relatively high, while ESV outside the control line were mainly

基金项目:国家自然科学基金项目(41330747)

收稿日期:2017-04-30;　**网络出版日期**:2018-03-02

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: wujs@pkusz.edu.cn

low and relatively low, which showed a decrease tendency. The results of the difference in differences method indicated that the basic ecological control line policy can increase ESV by approximately 1.6%.

Key Words: ecological control line; land use change; ecosystem services value; difference-in-differences method; Shenzhen City

生态系统服务(Ecosystem services)是人类从生态系统中所获得的各种惠益[1],其价值评估是生态环境保护、生态功能区划、环境经济核算和生态补偿决策的重要依据和基础[2]。1997 年 Costanza 等人发表在 Nature 上关于全球生态系统服务价值核算的文章[3]引发了研究者对生态系统服务的关注,生态系统服务迅速成为生态学、地理学和环境科学的研究热点和前沿[4]。国内外关于生态系统服务价值(Ecosystem services value, ESV)评估的方法的研究很多,但尚未形成一套统一的评估体系[5-8]。其中,谢高地等[9]在 Costanza 的研究成果上建立的中国陆地生态系统单位面积服务价值表的研究成果凭借直观易用、数据量需求少等特点为广大学者引用。土地利用变化蕴含大量人类活动的信息,可以通过改变生态系统类型、空间格局以及生态过程直接影响生态系统服务[10],其格局的变化对生态系统服务有着显著的影响[11]。随着土地利用土地覆被变化(LUCC)成为全球变化的热点,其对生态系统服务的影响也受到越来越多的关注[10-16]。

《基本生态控制线》(后简称"控制线")是深圳市于 2005 年颁布的一项生态政策。政策颁布后,深圳市的城市建设与发展多了一项强制性的约束条件,土地利用格局也因此发生了很大的变化,与之密切相关的生态系统服务价值可能也发生了变化。

倍差法最早由 Meyer[17]于 1995 年在《Natural and Quasi-Experiments in Economics》中提出,由于操作简单且逻辑清晰,该方法已被广泛应用在公共政策分析和工程评估中,其优点在于直接剔除公共政策实施前后的相同影响因素的影响,留下公共政策本身的影响,在经济学领域应用广泛[18-20],近年来也逐渐被引用到别的领域,如环境科学,研究高速路收费与空气污染之间的关系[21]。

为探究控制线对深圳市生态系统服务价值的影响,本研究基于深圳市 2002、2005 和 2010 年 3 期土地利用数据和控制线数据,分析了政策颁布前后深圳市土地利用变化情况,进而估算深圳市生态系统服务价值,探讨生态政策与生态系统服务价值之间的关系,以期为深圳市土地资源的合理优化配置,生态环境保护,生态政策的制定、调整及优化提供决策依据。

1　研究区与研究方法

1.1　研究区概况

深圳市位于中国南部海滨,珠江三角洲东岸,113°46′—114°37′E,22°27′—22°52′N。改革开放以来,深圳市从一个以农业为主的边陲小镇转变成高度城市化的大都市,景观格局经历了巨大的变化。城市建设用地不断扩张,生态用地不断被割裂和蚕食,生态环境出现了恶化的趋势[22],生态系统服务不可避免受到重大影响。

为此,深圳市于 2005 年颁布了《深圳市基本生态控制线管理规定》,成为全国第一个将生态保护纳入法规的城市。该政策要求将一级水源保护区、风景名胜区、自然保护区、集中成片的基本农田保护区、森林及郊野公园;坡度大于 25%的山地、林地以及特区内海拔超过 50 m、特区外海拔超过 80 m 的高地等纳入了控制线范围,最终约占全市面积一半的土地被划入了控制线内[23]。控制线内严格限制各种建设活动,且已建合法建筑不得擅自改建和扩建。

1.2　数据

本文基于深圳市 2002、2005 和 2010 年 3 期土地变更调查数据,参照国土资源部 2002 年实行的"土地利用分类系统"进行土地利用重分类,并依据研究需要将其合并为耕地、园地、林地、草地、建设用地、水域和其他用地七类。控制线数据由深圳市城市规划委员会(http://www.szplan.gov.cn/szupb/)于 2005 年公布,并根

据公布面积对其进行修正的数据。此外,还用到了深圳市 2002、2005 和 2010 年统计年鉴上粮食产量相关社会经济数据等。

1.3 研究方法

本文拟通过土地利用动态动度指标定量描述深圳市控制线政策颁布前后土地利用的变化特征,在此基础上利用价值系数法对深圳市生态系统服务价值进行估算,最后利用倍差法定量分析控制线政策对生态系统服务价值的影响。

1.3.1 土地利用动态度

土地利用动态度是用来描述某一地区一定时间段内各类土地利用类型的数量变化及变化速率情况[24]。计算公式如下:

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \tag{1}$$

式中,K 表示研究时段内某一土地利用类型的动态度;U_a,U_b 分别表示研究初期及研究末期某一土地利用类型的面积;T 表示研究时段长度,当 T 的单位设定为年时,K 的值就是研究区某地类的年变化率[25]。后文所用的即为土地利用类型的年变化率。

1.3.2 生态系统服务价值估算

本文通过谢高地等[9]提出的我国陆地生态系统服务的价值系数来计算深圳市生态系统服务价值,并根据深圳市的实际情况,对生态系统服务价值当量因子表进行部分修正:耕地与农田对应,园地取森林和草地的平均值,林地与森林对应,水域与水体对应,其他用地与裸地对应,建设用地赋值为 0,得到深圳市生态系统单位面积生态服务价值当量因子。将深圳市 2002、2005 和 2010 年 3 年的粮食平均产量(5915 kg/hm^2)以及稻谷平均收购价(2.28 元/kg)作为基准单产和价格确定深圳市平均粮食单产市场价值,进而以其价值的 1/7[9]确定 1 个生态系统服务价值当量因子的经济价值量为 13486.2 元/hm^2,利用公式(2)计算出深圳市不同土地利用类型单位面积生态系统服务价值系数(表 1)。

$$\mathrm{ESV} = \sum (A_k \times VC_k) \tag{2}$$

式中,ESV 为生态系统服务价值;A_k 为土地利用类型 k 的面积;VC_k 为生态系统服务价值系数。

表 1 深圳市不同土地利用类型单位面积生态系统服务价值系数/(元/hm^2)

Table 1 ESV per unit area of different land use in Shenzhen

生态系统服务类型 Class of ESV	耕地 Cultivated land	园地 Orchard	林地 Forest	草地 Grass land	水域 Water	其他用地 Others
食物生产 Food production	13486.2	2697.24	1348.62	4045.86	1348.62	134.86
原材料 Raw materials	1348.62	17869.22	35064.12	674.31	134.86	0
气体调节 Gas regulation	6743.1	28995.33	47201.7	10788.96	0	0
气候调节 Climate regulation	12002.72	24275.16	36412.74	12137.58	6203.65	0
水源涵养 Water conservation	8091.72	26972.4	43155.84	10788.96	274848.76	404.59
废物处理 Waste treatment	22117.37	17666.92	17666.92	17666.92	245179.12	134.86
土壤形成与保护 Soil formation and disposition	19689.85	39447.14	52596.18	26298.09	134.86	269.72
生物多样性保护 Biodiversity	9575.2	29332.49	43965.01	14699.96	33580.64	4585.31
娱乐文化 Entertainment culture	134.86	8900.89	17262.34	539.45	58530.11	134.86
总计 Sum	93189.64	196156.78	294673.47	97640.09	619960.61	5664.20

ESV: Ecosystem serices value

1.3.3 倍差法

分析控制线划定是否会对生态系统服务价值产生影响,重点在于比较控制线划定前后两个时间段的生态

系统服务价值的变化。但是直接进行前后比较不可能得到准确结论,因为控制线划定前后生态系统服务价值的差异可能不只是政策作用的结果,还包含了大量其他因素,如自然环境的变化、社会经济因素的影响等。本文拟采用倍差法(Difference-in-Differences approach)来解决这个问题。

具体而言,构造划定控制线的处理组和没有划定控制线的对照组,通过控制其他因素,比较控制线划定前后的处理组和对照组之间的差异,从而检验控制线划定对生态系统服务价值的影响。

将研究区划分为 500 m×500 m 的网格,根据每个网格中各土地利用类型的面积及单位面积生态系统服务价值系数计算得到每个网格的生态系统服务价值。将所有的网格划分为 4 组:控制线划定前的处理组和对照组、控制线划定后的处理组对照组。本研究将控制线以内的网格作为处理组,控制线以外的网格作为对照组,用 2005 年表示控制线划定前,2010 年表示控制线划定后。设置两个虚拟变量来度量样本的划分,一个是 du,处理组取值为 1,对照组为 0;另一个是 dt,控制线划定前取值为 0,划定后为 1。具体回归方程设定如下:

$$f_{it} = \beta_0 + \beta_1 du_{it} + \beta_2 dt_{it} + \beta_3 du_{it} \times dt_{it} + \varepsilon_{it} \tag{3}$$

式中,i 和 t 分别表示网格编号和时间,f 和 ε 分别为生态系统服务价值和扰动项。显然,系数 β_3 度量了控制线划定对生态系统服务价值的影响,即控制线的政策效应,解释如下:

在对照组,即 $du_{it} = 0$,由式(3)可知,控制线划定前后生态系统服务价值分别记为:

$$f_{it} = \begin{cases} \beta_0 + \delta_{it} \ 当 dt_{it} = 0, 控制线划定前 \\ \beta_0 + \beta_2 + \varepsilon_{it} \ 当 dt_{it} = 1, 控制线划定后 \end{cases}$$

可见,控制线划定前后,对照组的生态系统服务价值的变化为$(\beta_0 + \beta_2 + \varepsilon_{it})$—$(\beta_0 + \delta_{it})$,即 $\Delta f_1 = \beta_2$。

相应的,在处理组,即 $du_{it} = 1$,由式(3)可知,控制线划定前后生态系统服务价值分别记为:

$$f_{it} = \begin{cases} \beta_0 + \beta_1 + \delta_{it} \ 当 dt_{it} = 0, 控制线划定前 \\ \beta_0 + \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \varepsilon_{it} \ 当 dt_{it} = 1, 控制线划定后 \end{cases}$$

可见,控制线划定前后,处理组的生态系统服务价值的变化为$(\beta_0 + \beta_1 + \beta_2 + \varepsilon_{it})$—$(\beta_0 + \beta_1 + \delta_{it})$,即 $\Delta f_2 = \beta_2 + \beta_3$。

因此,控制线划定对生态系统服务价值的净影响为 $\Delta f_2 - \Delta f_1 = \beta_3$,即交叉项 $du_{it} \times dt_{it}$ 的系数 β_3。

由于控制线划定需要政府批准,可视为外生变量,可以假定与回归方程的误差项不相关,即 $E(\varepsilon_{it} \mid du_{it} \times dt_{it}) = 0$。

在实证分析过程中,在上述回归方程中加入一个新的变量,建设用地面积占比 x_{it}(每个网格中建设用地面积与该网格面积的比值),得到以下回归方程:

$$f_{it} = \alpha + \beta_1 du_{it} + \beta_2 dt_{it} + \beta_3 du_{it} \times dt_{it} + \beta_4 x_{it} + \varepsilon_{it} \tag{4}$$

本文关注参数 β_3,当 β_3 为正时,表示控制线划定提高了研究区生态系统服务价值,反之,控制线对生态系统服务价值无作用。

2　结果与分析

2.1　土地利用变化分析

整体来看土地利用类型变化表现为:建设用地面积占比最大,且不断增大;耕地、园地、草地、水域面积不断减小,林地和其他用地面积先减小后增大(表 2)。具体从年变化率来看,控制线划定前后,面积不断减小的耕地、园地、草地、水域,后期的减小速率均小于前期减小的速率;前期建设用地是唯一年变化率为正值的地类,其面积前期增大的速率远大于后期,建设用地扩张遇到明显的阻力;其他用地面积减小的速率最大,林地面积变化的趋势由减小转变成增大,林地作为主要的生态用地,受到了生态政策明显的保护和恢复作用。

表 3 给出了控制线内/外各土地利用类型面积比例以及动态度变化的情况。可以看到,园地和林地的绝大部分面积都划分到控制线以内,耕地、草地、水域面积次之,建设用地面积占比最小。随着时间的推移,控制线内耕地、园地、水域面积比例不断提高,林地面积比例变化不大,建设用地面积比例增加速率变小,草地和其

他用地面积比例先增大后减小。控制线外耕地、园地水域面积比例不断降低，林地面积比例变化不大，建设用地面积比例略有减小，草地和其他用地面积比例先减小后增大。从线内/外各土地利用类型的动态度来看，控制线划定前，除建设用地外各地类面积变化情况呈现线内小于线外的趋势；控制线划定后普遍存在控制线内变化小于线外变化的现象，且各地类面积变化幅度明显小于控制线划定前。

表 2 深圳市土地利用类型面积比例及动态度

Table 2 Annual change of land use in Shenzhen

年份 Year	项目 Items	耕地 Cultivated land	园地 Orchard	林地 Forest	草地 Grass land	建设用地 Construction	水域 Water	其他用地 Others
2002	面积/hm^2	6007	30306	61022	74	74301	21093	3389
	比例/%	3.06	15.45	31.10	0.04	37.87	10.75	1.73
2005	面积/hm^2	4560	27093	57708	47	88376	17008	1400
	比例/%	2.32	13.81	29.41	0.02	45.05	8.67	0.71
2010	面积/hm^2	3260	23543	58666	28	90149	14811	5735
	比例/%	1.66	12.00	29.90	0.01	45.95	7.55	2.92
2002—2005	年变化率/%	-8.03	-3.53	-1.81	-11.90	6.31	-6.46	-19.57
2005—2010		-5.70	-2.62	0.33	-8.25	0.40	-2.58	61.95

表 3 控制线内/外土地利用类型面积比例及动态度

Table 3 Annual change of land use within/outside the control line

年份 Year	项目/% Items	耕地 Cultivated land	园地 Orchard	林地 Forest	草地 Grass land	建设用地 Construction	水域 Water	其他用地 Others
2002	线内比例	31.30	69.12	87.31	35.14	13.76	42.59	36.94
	线外比例	68.70	30.88	12.69	64.86	86.24	57.41	63.06
2005	线内比例	43.11	75.47	89.03	89.36	15.90	47.02	50.50
	线外比例	56.89	24.53	10.97	10.64	84.10	52.98	49.50
2010	线内比例	47.12	80.73	88.67	78.57	15.92	51.74	34.77
	线外比例	52.88	19.27	11.33	21.43	84.08	48.26	65.23
2002—2005	线内年变化率	1.53	-0.79	-1.19	20.75	12.48	-3.66	-14.53
	线外年变化率	-12.38	-9.67	-6.09	-29.30	5.33	-8.53	-22.52
2005—2010	线内年变化率	-4.37	-1.41	0.25	-9.36	0.42	-0.84	36.44
	线外年变化率	-6.71	-6.35	1.00	-0.34	0.40	-4.13	87.95

2.2 生态系统服务价值估算

整体来看，2002—2010 年间，深圳市生态系统服务总价值不断降低，从 2002 年的 376.41 亿元下降到 2005 年的 333.56 亿元，降幅 11.38%，再降到 2010 年的 314.81 亿元，降幅 5.62%（表 4），生态系统服务总价值降低的速率减小。从各土地利用类型来看，耕地、园地、草地和水域的价值均不断降低，而林地和其他用地的价值出现了先降低后升高的变化，控制线划定后生态系统服务价值回升，但林地和其他用地增加的价值并不能弥补其他地类价值的损失，因此，研究时段内深圳市生态系统服务总价值是不断减小的。从生态系统服务总价值的构成来看，林地和水域的价值是总价值的主要组成部分，两种地类价值之和占比超过 80%。园地的价值占比较小，约为 14%—16%，草地和其他用地的服务价值占比最小。尽管各土地利用类型对总生态系统服务价值的重要程度分异明显，2002—2010 年各土地利用类型服务价值的比例变化并不显著。从控制线内/外生态系统服务价值来看，虽然线内/外价值均在不断降低，但线内的价值均远高于线外，并且两者之间的差异在不断增大，各土地利用类型变化表现为耕地、水域和其他用地价值线内低于线外，园地和林地价值线内高于线外，尤其线内林地价值远远高于线外林地价值。

表 4　深圳市 2002—2010 年生态系统服务价值/亿元

Table 4　ESV in Shenzhen from 2002 to 2010

年份 Year	项目 Items	耕地 Cultivated land	园地 Orchard	林地 Forest	草地 Grass land	水域 Water	其他用地 Others	总计 Sum
2002	线内	1.75	41.09	157	0.02	55.7	0.07	255.63
	线外	3.86	18.46	23.09	0.05	75.21	0.12	120.78
	整体	5.61	59.55	180.09	0.07	130.91	0.19	376.41
2005	线内	1.83	40.11	151.4	0.04	49.59	0.04	243.01
	线外	2.42	13.15	18.95	0	55.99	0.04	90.55
	整体	4.25	53.26	170.35	0.04	105.58	0.08	333.56
2010	线内	1.43	37.28	153.29	0.02	47.51	0.11	239.65
	线外	1.62	8.97	19.89	0.01	44.47	0.21	75.16
	整体	3.05	46.25	173.18	0.03	91.98	0.32	314.81

从表 5 可以看到四大类服务价值、各项服务产生的价值及其比例。总体来看,从 2002 年到 2010 年,深圳市四大类服务价值均减小,但控制线划定后价值减小的速率有所减缓。各项服务价值结构保持不变,不过各项服务价值之间的差距有所减小,生态系统服务价值差异极大值由 2002 年的 90.25 亿元减小至 2010 年的 70.60亿元。各项生态系统服务按照服务价值大小排序依次为:水源涵养>废物处理>土壤形成与保护>生物多样性保护>气体调节>气候调节>原材料>娱乐文化>食物生产。虽然各项生态系统服务价值排序没有发生变化,但各项服务价值的变化趋势有所不同,其中气体调节、气候调节、土壤形成与保护、生物多样性保护和原材料几项服务价值增大,而水源涵养、废物处理、食物生产和娱乐文化价值减小。

表 5　深圳市 2002—2010 年各项生态系统服务价值

Table 5　ESV of different ecosystem services in Shenzhen from 2002 to 2010

项目 Items	2002			2005			2010			趋势 Tendency
	ESV/亿元	%	排序	ESV/亿元	%	排序	ESV/亿元	%	排序	
食物生产 Food production	2.74	0.73	9	2.36	0.71	9	2.07	0.66	9	↓
原材料 Raw materials	26.92	7.16	7	25.16	7.56	7	24.84	7.9	7	↑
气体调节 Gas regulation	38	10.11	5	35.41	10.63	5	34.74	11.05	5	↑
气候调节 Climate regulation	31.62	8.41	6	29.2	8.77	6	28.39	9.03	6	↑
水源涵养 Water conservation	92.99	24.74	1	79.34	23.82	1	72.67	23.12	1	↓
废物处理 Waste treatment	69.2	18.41	2	57.7	17.33	2	51.57	16.41	2	↓
土壤形成与保护 Soil formation and disposition	45.29	12.05	3	41.98	12.61	3	40.83	12.99	3	↑
生物多样性保护 Biodiversity	43.54	11.58	4	39.54	11.87	4	38.25	12.17	4	↑
娱乐文化 Entertainment culture	25.59	6.81	8	22.34	6.71	8	20.9	6.65	8	↓
总计 Sum	376.41	100	—	333.56	100	—	314.81	100	—	—

"总计"是各大类服务价值的总和;"排序"是各项服务产生的价值对总价值的贡献排序;"趋势"表示的是研究时段内各项服务价值的变化趋势,"↑"表明该项服务价值增大,"↓"表明该项服务价值减小[26]

将研究区划分为 500 m×500 m 的网格,根据每个网格中各土地利用类型的面积计算每个网格的生态系

统服务价值,采用自然断点法将其划分为低、较低、中、较高和高 5 个等级,最终得到 2002—2010 年深圳市生态系统服务价值等级空间分布(图 1)。从空间上来看,深圳市生态系统服务价值整体呈现下降的趋势,价值低的范围不断扩大,蚕食价值高的区域,尤其以西部沿海、宝安北部、光明新区、龙华北部以及龙岗南部地区价值降低最为显著,大鹏新区存在部分零星价值升高的区域。控制线划定之前,生态系统服务价值的高值区快速流失,而控制线划定之后,情况相对好转,除了西部沿海地区水域面积缩减造成生态系统服务价值明显降低之外其他区域变化相对不显著。

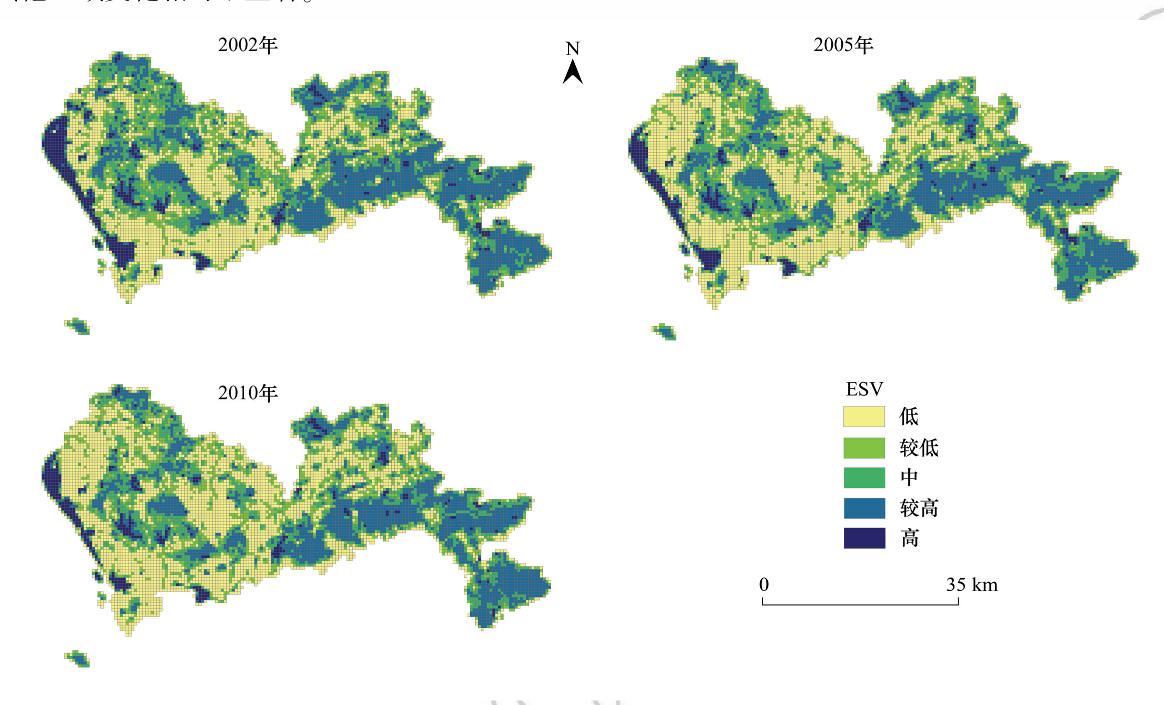


图 1 2002—2010 年深圳市生态系统服务价值

Fig.1 ESV in Shenzhen from 2002 to 2010

ESV: 生态系统服务价值 Ecosystem serices value

控制线内/外生态系统服务价值的空间变化分别如图 2、3 所示。对比两张图可以发现,控制线以内生态系统服务价值以中、较高为主,高值零星分布,整体价值较高;控制线以外生态系统服务价值以低、较低为主,高值主要分布在西部沿海地区。主要原因是线内以林地、园地等生态用地类型为主,单位面积生态系统服务价值较高;线外主要以建设用地为主,单位生态系统服务价值很低。由于水域单位面积生态系统服务价值系数是各土地类型的极大值,因此水域分布的地区价值最高。

从时间变化上看,生态系统服务价值在控制线以内的变化不明显,而在控制线以外,表现出降低的趋势,尤其以 2002—2005 年降低最为显著,价值降低的区域主要分布在宝安北部、光明新区、龙华北部以及龙岗南部地区;2005—2010 年西南部地区水域面积收缩,造成生态系统服务价值的降低。可见,控制线以内限制开发的区域生态系统服务的价值得以维持和保护,而控制线以外非限制性区域,由于城市的发展,价值继续降低。

2.3 控制线政策对生态系统服务价值的效应分析

通过倍差法,构建了生态系统服务价值与控制线政策之间的回归模型。模型样本共计 22292 个网格,将每个网格的生态系统服务价值作为因变量,du、dt、$du \times dt$、建设用地占比作为自变量,利用 SPSS 软件进行多元线性回归,得到模型回归结果如表 6。

从模型回归结果来看,最终多元回归模型回归方程为 $ESV = 0.26du - 0.33dt + 0.016du \times dt - 0.769x$ 。模型通过 F 检验,模型整体有效;拟合优度为 0.617,自变量对因变量的解释程度较高,拟合较好;自变量的回归

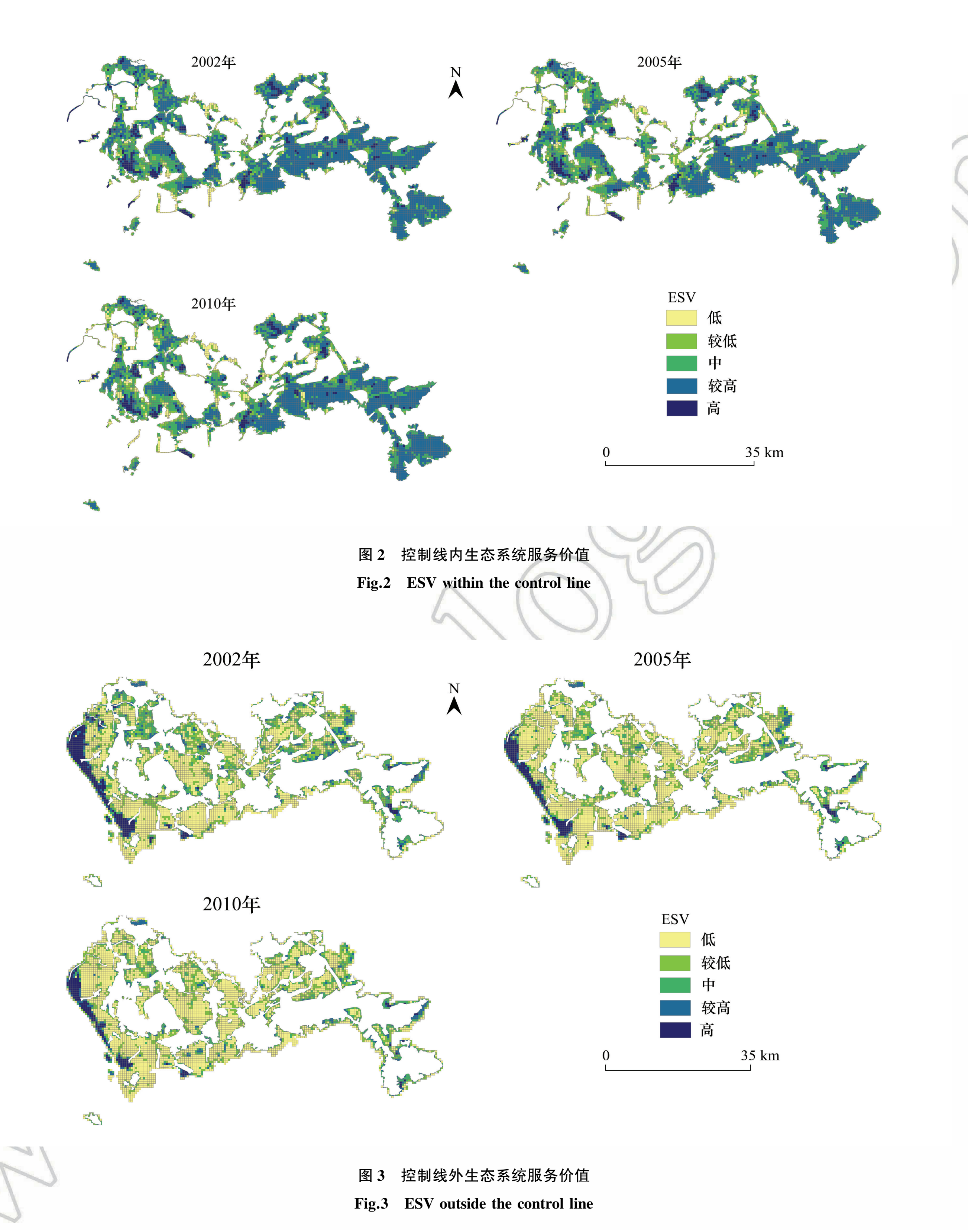


图 2　控制线内生态系统服务价值

Fig.2　ESV within the control line

图 3　控制线外生态系统服务价值

Fig.3　ESV outside the control line

系数均通 *t*-检验。建设用地占比系数值为负,说明建设用地面积的比例对生态系统服务价值存在负效应,即建设用地面积占比越大,生态系统服务价值越小,与事实吻合,进一步说明模型的有效性。本文重点关注的 $du \times dt$ 的系数 β_3 的值为 0.016,值为正,说明控制线的划定能够提高且大约提高 1.6%的生态系统服务价值。由此可见,控制线的划定确实对区域生态系统服务具有促进作用,其政策效应得以定量表现,而前文关于两者

关系的描述性分析具有可靠性。

表 6 倍差法结果

Table 6 Results of difference-in-differences method

因变量 Dependent variable	自变量 Independent variables	系数值 Coefficient	t-检验值 t-test	R^2	F 检验值 F-test
生态系统服务价值 Ecosystem services values	du	0.26	4.254***	0.617	8976.731***
	dt	-0.33	-5.694***		
	$du \times dt$	0.016	2.313***		
	建设用地占比	-0.769	-166.960***		

*** 表示 $P<0.01$

3 结论与讨论

3.1 结论

本研究基于 2002 年、2005 年和 2010 年深圳市控制线划定前后的土地变更调查数据，分析了控制线政策颁布前后深圳市土地利用的变化情况，运用基于单位面积价值当量因子法对深圳市生态系统服务价值进行评估并分析，最后利用倍差法定量研究了控制线政策对生态系统服务价值的影响。结果表明：(1)深圳市林地和水域的价值最大，且价值之和超过总价值的 80%。控制线划定之前，随着城市化进程的推进，生态用地被建设用地蚕食，造成生态系统服务总价值减少 42.9 亿元；而控制线划定之后，生态用地受到政策的保护，面积有所增加，但并不足以弥补建设用地扩张带来的价值损失，所以总价值继续减少 18.74 亿元，减少的速率明显下降。生态系统服务价值线内远高于线外，价值降低速率线内远低于线外。各项服务按照价值大小排序依次为：水源涵养>废物处理>土壤形成与保护>生物多样性保护>气体调节>气候调节>原材料>娱乐文化>食物生产。(2)空间上，低价值区域面积不断扩大，高价值区域被蚕食，尤其以西部沿海、宝安北部、光明新区、龙华北部以及龙岗南部地区价值降低最明显。控制线划定之前生态系统服务价值快速流失，而控制线划定之后，情况稍有好转。控制线内生态系统服务价值以较高、高为主，整体价值较高，并且随时间的变化不明显；控制线外生态系统服务价值以低、较低为主，价值较低，且呈现不断降低的趋势，尤其控制线划定之前价值降低显著。(3)倍差法得到控制线政策对生态系统服务价值的影响为正，控制线的划定大约提高 1.6%的生态系统服务价值。

3.2 倍差法适用性

本文所采用的倍差法是经济学、公共管理学中广泛使用的政策效应评估工具，目前在生态政策效应研究中应用较少。由于政策具有难量化的特点，对政策效应的一般定性描述往往不能排除政策之外其他因素的影响。倍差法操作简单且能较好解决政策难定量化、难剥离的问题，得到越来越广泛的运用。

控制线政策是深圳市颁布的一项强制性空间生态政策，任何城市开发活动都需要遵守控制线的规定。研究控制线政策对深圳市生态系统服务价值的影响同样属于政策的效应研究范畴，倍差法具有一定适用性；而文章使用倍差法的结果也表明控制线政策对生态系统服务价值确实是存在影响的，证实了倍差法在生态政策效应评估中的适用性。

3.3 不足与展望

由于土地利用的分类与自然生态系统类型并非完全对应，所以各种土地利用类型单位面积服务价值的取值只是一种近似[26-27]。使用不同的方法计算得到的深圳市生态系统服务总价值可能有较大的偏差。本研究采用基于单位面积价值当量因子的方法对深圳市生态系统服务价值进行评估，虽然已经根据深圳市的实际情况对价值当量因子表进行部分修正，但发现单位面积水域的水源涵养服务价值当量因子偏高，导致计算得到的水源涵养服务价值系数偏高，水域价值计算存在一定的误差。不过，本研究侧重分析生态系统服务价值的时空变化情况，可以消除由生态系统服务价值单价取值不同带来的影响，也能够客观反映研究区生态系统服

务价值的变化,因此,研究的结论依旧具有可靠性。

本研究在进行倍差法分析时,所考量的生态系统服务价值变化仅基于单一时间段,今后应进一步考虑做长时间序列上的动态变化,以更为准确地衡量城市生态空间政策的时间效应,进而辅助决策者及时调整生态管控政策,也为建设可持续发展的生态城市提供理论和实践基础。

参考文献(References):

[1] MEA (Millennium Ecosystem Assessment). Ecosystems and Human Well-Being. Washington DC: Island Press, 2005.

[2] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 陈文辉, 李士美. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进. 自然资源学报, 2015, 30(8): 1243-1254.

[3] Costanza R, D'Arge R, de Groot R. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Ecological Economics, 1998, 25(1): 3-15.

[4] 傅伯杰, 于丹丹. 生态系统服务权衡与集成方法. 资源科学, 2016, 38(1): 1-9.

[5] Zhang B, Li W H, Xie G D. Ecosystem services research in China: Progress and perspective. Ecological Economics, 2010, 69(7): 1389-1395.

[6] Yu Z Y, Bi H. The key problems and future direction of ecosystem services research. Energy Procedia, 2011, 5: 64-68.

[7] Yu Z Y, Bi H. Status Quo of Research on Ecosystem Services Value in China and suggestions to future research. Energy Procedia, 2011, 5: 1044-1048.

[8] Jian S. Research advances and trends in ecosystem services and evaluation in China. Procedia Environmental Sciences, 2011, 10: 1791-1796.

[9] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 郑度, 李双成. 青藏高原生态资产的价值评估. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-196.

[10] 李屹峰, 罗跃初, 刘纲, 欧阳志云, 郑华. 土地利用变化对生态系统服务功能的影响——以密云水库流域为例. 生态学报, 2013, 33(3): 726-736.

[11] 傅伯杰, 张立伟. 土地利用变化与生态系统服务: 概念、方法与进展. 地理科学进展, 2014, 33(4): 441-446.

[12] 赵丹, 李锋, 王如松. 城市土地利用变化对生态系统服务的影响——以淮北市为例. 生态学报, 2013, 33(8): 2343-2349.

[13] 刘金勇, 孔繁花, 尹海伟, 闫伟姣, 孙常峰, 许峰. 济南市土地利用变化及其对生态系统服务价值的影响. 应用生态学报, 2013, 24(5): 1231-1236.

[14] 张舟, 吴次芳, 谭荣. 生态系统服务价值在土地利用变化研究中的应用: 瓶颈和展望. 应用生态学报, 2013, 24(2): 556-562.

[15] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 肖玉, 陈操. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法. 自然资源学报, 2008, 23(5): 911-919.

[16] 刘桂林, 张落成, 张倩. 长三角地区土地利用时空变化对生态系统服务价值的影响. 生态学报, 2014, 34(12): 3311-3319.

[17] Meyer B D. Natural and quasi-experiments in economics. Journal of Business & Economic Statistics, 1995, 13(2): 151-161.

[18] 史宇鹏, 周黎安. 地区放权与经济效率: 以计划单列为例. 经济研究, 2007, (1): 17-28.

[19] 李郇, 徐现祥. 中国撤县(市)设区对城市经济增长的影响分析. 地理学报, 2015, 70(8): 1202-1214.

[20] 周黎安, 陈烨. 中国农村税费改革的政策效果: 基于双重差分模型的估计. 经济研究, 2005, (8): 44-53.

[21] Fu S H, Gu Y Z. Highway toll and air pollution: evidence from Chinese cities. Journal of Environmental Economics and Management, 2017, 83: 32-49.

[22] 史培军, 潘耀忠, 陈晋, 王平, 周武光. 深圳市土地利用/覆盖变化与生态环境安全分析. 自然资源学报, 1999, 14(4): 293-299.

[23] 深圳市人民政府. 深圳市基本生态控制线管理规定. (2005-11-01) [2016-02-14]. http://www.szpl.gov.cn/main/csgh/zxgh/stkzx/index.htm.

[24] 王秀兰, 包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨. 地理科学进展, 1999, 18(1): 81-87.

[25] 陈述彭, 童庆禧, 郭华东. 遥感信息机理研究. 北京: 科学技术出版社, 1998.

[26] 李文楷, 李天宏, 钱征寒. 深圳市土地利用变化对生态服务功能的影响. 自然资源学报, 2008, 23(3): 440-446.

[27] Limburg K E, O'Neill R V, Costanza R, Farber S. Complex systems and valuation. Ecological Economics, 2002, 41(3): 409-420.